

**DEFINICIÓN DE ZONAS CRÍTICAS EN EL TRAZADO DE LA VÍA
QUE COMUNICA A LOS MUNICIPIOS DE NUNCHIA Y TAMARA,
CASANARE. MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.**

Autor:

Ingeniero Geólogo
Jhon Darío Barrera Fraile.

Tutor:

Ingeniero Civil
Maestría en Educación
Felipe Alfredo Riaño Pérez

Programa:

Especialización en Geomática
Facultad de Ingeniera

Universidad Militar Nueva Granada



Año 2017

DEFINICIÓN DE ZONAS CRÍTICAS EN EL TRAZADO DE LA VÍA QUE COMUNICA A LOS MUNICIPIOS DE NUNCHIA Y TAMARA, CASANARE. MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

DEFINITION OF CRITICAL ZONES IN THE LAYOUT OF THE ROUTE THAT COMMUNICATES NUNCHIA TO TAMARA, CASANARE. THROUGH THE USE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS.

Jhon Darío Barrera Fraile.

Ingeniero Geólogo, Consultor
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá DC – Colombia.

frailejhon@gmail.com

RESUMEN

Identificar las Zonas críticas, en un proyecto vial, representa gran importancia, en cuanto permite diseñar taludes, e identificar sitios inestables, causados por la disposición estructural de las rocas, fallas geológicas y la naturaleza propia de los materiales ante una intervención antrópica. Para definir estas zonas críticas en el trazado de la vía, se empleó un análisis espacial mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG), aplicando procesos jerárquicos y análisis multicriterio con capas temáticas, producto de imágenes satelitales del programa espacial Sentinel 2A, modelo digital del terreno (DTM) de Alos Palsar y procesamiento de datos mediante las herramientas ArcMap 10.3. Como resultado final se obtiene la unidad geológica y la unidad geomorfológica, que al superponerlas y ponderarlas, permite identificar zonas de Alta y muy Alta susceptibilidad a desarrollar movimientos en masa y de esta manera identificar las zona críticas a ser intervenidas.

Palabras Clave: susceptibilidad, Análisis espacial y cartografía temática.

ABSTRACT

To identify the critical zones, in a route Project, represents the huge importance it allows to desing slopes, And identify unstable areas, produced by structural disposition of rocks, geological faults, and own nature of materials caused by human intervention. for define this criticals zones, an analisys spatial was used through of geographic information systems (GIS), Applied Hierarchical process and Multicriteria analysis with thematic layers, Product of satelitals imagines by sentinel 2A spacial program, digital elevation model (DEM) from Alos palsar and data prosecution in ArcMap 10.3 tools. How final result is obtained the geologycal and geomorphological unit, if that being overlapping and Weighted, it allows to identify areas with highth and very highth sucepptibility to develop mass movement and this way to identify the critical zone to by intervened.

Keywords: Sucetibility, spatial analisys and thematic mapping.

INTRODUCCIÓN

El piedemonte llanero se caracteriza por una intensa actividad tectónica, climática y antrópica, convirtiéndola en una zona con intensa actividad morfodinámica. Por tal motivo se hace importante realizar valoraciones de susceptibilidad, que permitan identificar zonas críticas y de esta manera acercarnos a tomar decisiones correctas en trazados y aperturas de vías.

Estas zonas críticas son valoradas en la actualidad mediante el uso de los sistemas de información geográfica (SIG); permitiendo reproducir las condiciones de la superficie y de esta manera modelar con alto grado de precisión, la dinámica de algunas geoformas, facilitando la interpretación de fenómenos naturales a escala regional y local.

1. INSUMOS

Para determinar las zonas críticas en el trazado vial, se contó con Imágenes satelitales, Modelo digital de elevación (DEM o DTM) y software ArcGIS 10.3. Estos insumos fueron base fundamental para la generación de cartografía temática.

Las imágenes satelitales utilizadas pertenecen a la Agencia Espacial Europea (ESA), cuyo proyecto se conoce como Sentinel 2A. Estas poseen una resolución de 10, 20 y 60 metros; 13 bandas espectrales y un ancho de imagen de 290 kilómetros; cabe aclarar que este proyecto fue lanzado en el 2015 y sus imágenes son gratuitas.

El Modelo Digital de Elevación (DEM o DTM), utilizado pertenece a la misión STRM, con resolución de 30 metros, elaborado por la NASA y con remuestreo de la agencia de exploración aeroespacial de Japón (JAXA) y la Organización de sistema

de observación de recursos del Japón (JAROS) a partir de imágenes de radar de apertura sintética de la Banda L, con una precisión de 12.5 metros de resolución del pixel. La cartografía temática fue generada y procesada mediante el programa Arcgis 10.3 extensión Spatial Analyst y geoprocursos ArcGIS python.

2. METODOLOGÍA

Para definir las zonas críticas en el trazado de la vía, se aplicó un análisis espacial mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG), con análisis simultáneo de capas temáticas y componente espacial de los objetos geográficos. Donde se lleva un proceso analítico jerárquico (AHP) y evaluación multicriterio (EMC). (Servicio Geológico Colombiano, 2013, p23). Este análisis espacial se realizó con la extensión ArcGIS Spatial Analyst, la cual permite explorar y analizar los datos espaciales.

El Proceso Analítico jerárquico (AHP), “(...) es un método desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980, como ayuda a toma de decisiones. Consiste en dividir una situación compleja y poco estructurada en sus partes que la componen, organizándolas en orden jerárquico asignando valores numéricos sobre la importancia relativa de cada variable, en este caso las diferentes capas temáticas (Servicio Geológico Colombiano, 2013, p24).

Esta distribución la componen en su orden, la definición de zonas críticas sobre el trazado vial, como cabeza de esta jerarquía, que a su vez, se divide en unidad geológica y unidad geomorfológica.

La unidad geológica la componen propiedades como fabrica/Estructura,

resistencia y densidad de fracturamiento de la roca. La unidad geomorfológica se divide en morfometría, morfogénesis y morfodinámica. La morfometría se

subdivide en pendientes, rugosidad y acuenca. La morfodinámica en inventario de procesos de remoción en masa y RelIncli. Esta estructura jerárquica se muestra en el Figura 1.

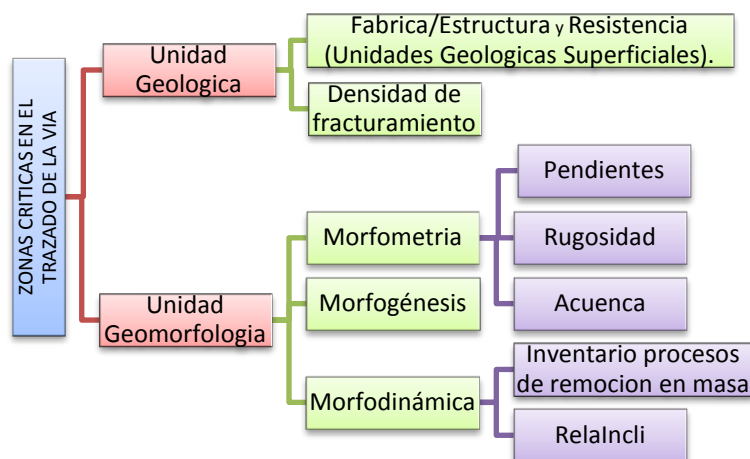


Figura 1. Estructura jerárquica empleada para el estudio de zonas críticas sobre el trazado de la vía Nunchia - Tamara. (Fuente: Elaboración Propia).

3. CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

✓ Unidades Geológicas Superficiales

La vía entre las poblaciones de Nunchia y Tamara, corta materiales Rocosos de las formaciones San Fernando, formación Diablo, formación caja, formación corneta y depósitos aluviales y coluviales. Hacia la base (cronológicamente), se identifica la formación San Fernando caracterizada por la alternancia de gruesos paquetes de arcillolitas y lodolitas, separados por conjunto de areniscas cuarzosas; Suprayace la formación Diablo, compuesta por areniscas cuarzo – feldespáticas, de color blanco amarillentas, de grano medio a grueso en capas muy gruesas e intercalaciones de arcillolitas grises y limolitas silíceas en capas delgadas.

Las suprayace la formación Caja, la cual se caracteriza por capas discontinuas de areniscas de grano fino a medio de composición cuarzo feldespático y conglomerados con intercalaciones centimétricas de lodolitas y arcillolitas. Seguido a la

formación Caja se identificaron depósitos no consolidados como la formación Corneta, depósitos coluviales y depósitos Aluviales (Ver figura 2 'Izquierda').

Cada unidad geológica identificada fue calificada dependiendo de su Resistencia y su Fabrica/Estructura, tomando como guía el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000, realizado por el Servicio Geológico Colombiano. Los depósitos aluviales se calificaron como uno (1), correspondiente a muy baja susceptibilidad, La formación Caja calificada como dos (2) corresponde a baja susceptibilidad, La formación San Fernando y la formación Diablo fueron calificadas como tres (3) que corresponde a medianamente susceptibles, los abanicos aluviales fueron calificados como cuatro (4) correspondiente a alta susceptibilidad.

Los depósitos coluviales y la formación Corneta, se califican como cinco (5) que corresponde a muy alta

susceptibilidad, (Ver Figura 2 'Derecha').

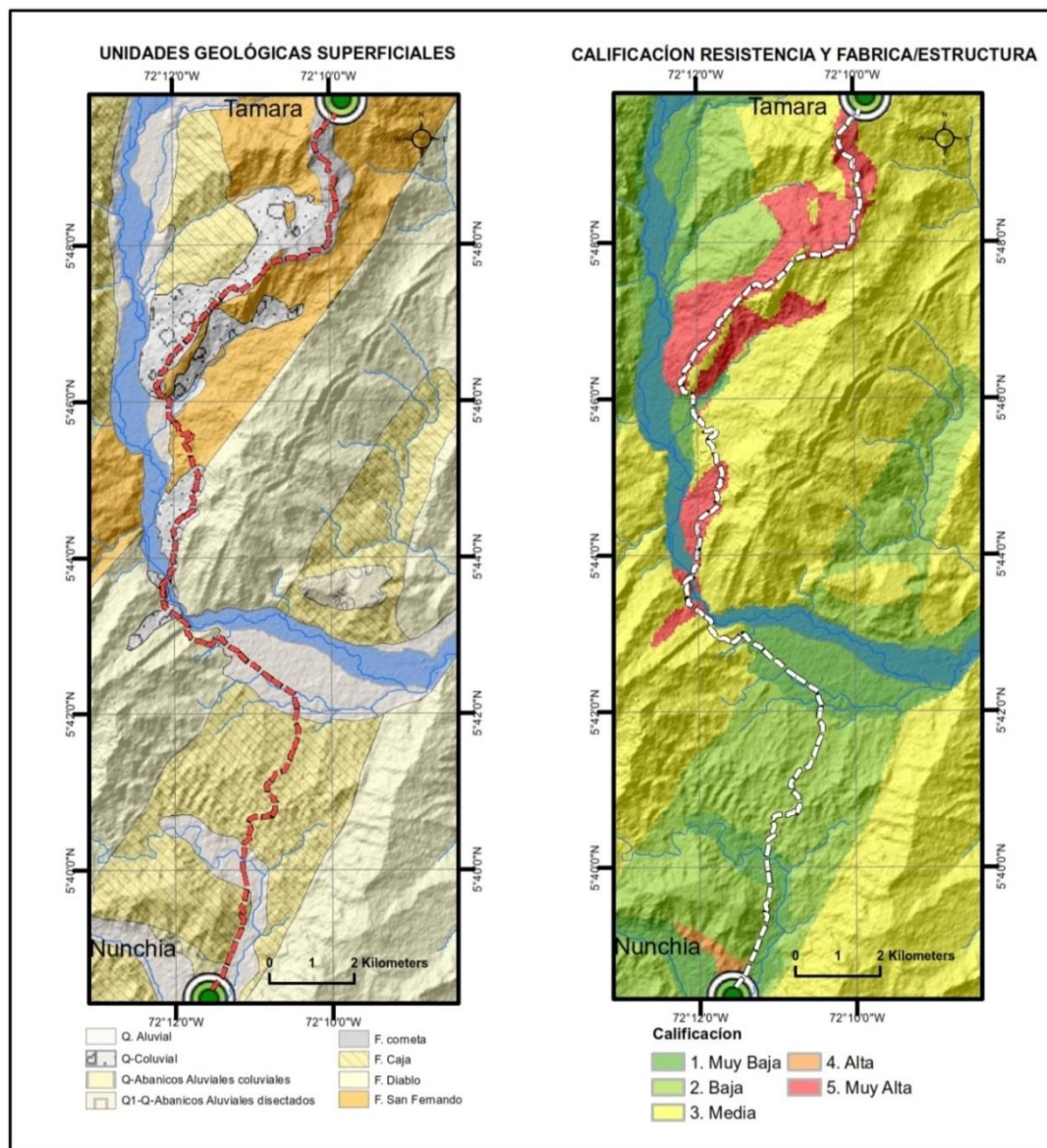


Figura 2. Distribución de unidades geológicas superficiales 'Izquierda' y calificación de susceptibilidad resistencia y Fabrica/Estructura 'Derecha'. (Fuente: Elaboración Propia).

✓ Densidad de Fracturamiento

Las principales fallas que afectan el área del proyecto corresponden a las La fallas de Guaicaramo, Miraflores, Alirios y algunas de menor magnitud. La falla de Guaicaramo está localizada al noroccidente del área del proyecto, es una falla inversa de gran magnitud, su orientación preferencial corresponde a N25°E y su plano de falla se encuentra buzando al Oeste y

presenta movimiento dextral (derecho lateral).

La falla Miraflores lleva una dirección N45°E y se extiende aproximadamente 15 km. Se encuentra inclinada hacia el Noroeste y pone en contacto la parte media de la Formación San Fernando con la parte superior de la misma unidad, generando a su vez un engrosamiento

de la unidad. La falla Alirios presenta una dirección general N45°E, con una longitud aproximadamente mayor a 12 km, buzando hacia el Noroeste. En la parte Sur pone en contacto el intervalo Arenoso Indiferenciado con la Formación Diablo y al norte genera el cabalgamiento de la Formación San Fernando sobre la Formación Diablo. En el sector se evidencio tres puntos sobre la vía, donde se identificaron fallas locales, sin embargo estas fueron trazadas como inferidas (solo un punto de control), (Ver figura 3 'Izquierda').

Se califica las fallas a una distancia de 250 metros (desde su Línea de Falla), como grado cinco (5), que corresponde a muy alta susceptibilidad, fallas a una distancia de 1000 metros como grado cuatro (4), que corresponde a alta susceptibilidad, fallas a una distancia de 1500 metros como grado tres (3), que corresponde a medianamente susceptible, fallas a una distancia de 2500 y mayores a 2500 metros como grado dos (2) y grado uno (1), que corresponden a baja y muy baja susceptibilidad respectivamente, (Ver figura 3 'Derecha').

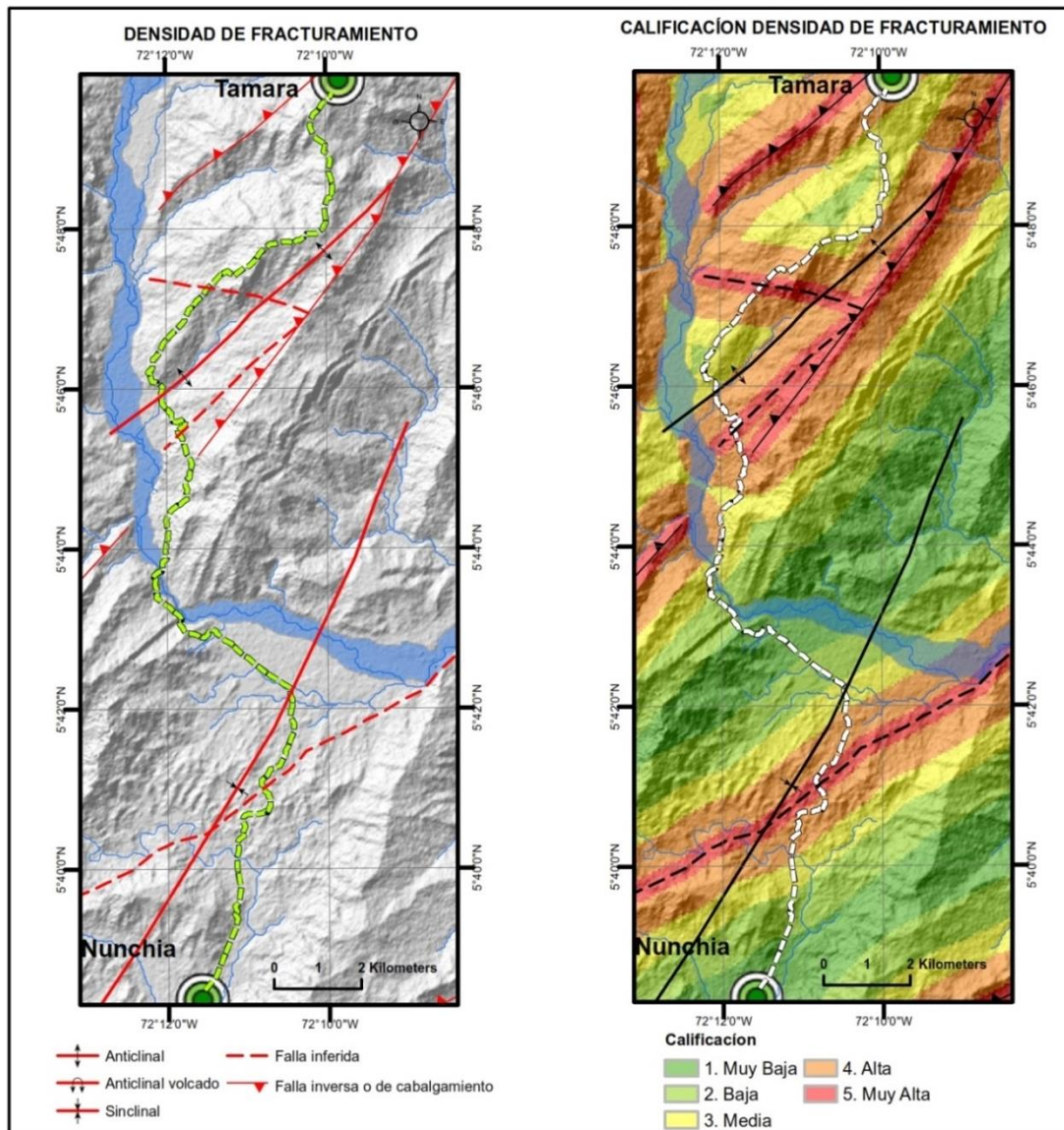


Figura 3. Densidad fracturamiento 'Izquierda' y calificación de susceptibilidad Densidad de fracturamiento 'Derecha'. (Fuente: Elaboración Propia).

✓ Morfometría

Para la valoración de la morfometría, se analizó las pendientes del terreno, Acuenca (Zonas de flujo y acumulación) y Rugosidad del terreno, (Ver Figura 4 'Derecha'). La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje, (Servicio Geológico Colombiano, 2013, p52).

Como guía en su calificación se siguió el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000, realizado por el Servicio Geológico Colombiano. Donde las pendientes mayores a 40° y entre, 19° a 40°, 11° a 19°, 7° a 11° y 0 a 7°, se clasifican como escarpada, abrupta, muy inclinada, inclinada y plana a suavemente inclinada respectivamente, (Ver Figura 4 'Izquierda').

El 31% del área de estudio presenta una susceptibilidad media, 26% baja, 25% Alta, 26% Muy Baja y solamente el 2% presenta una susceptibilidad muy alta a desarrollar movimientos en masa, teniendo como base la distribución de las pendientes.

La Acuenca está relacionada con el flujo de las aguas, donde su dirección es la máxima pendiente (flow Direction), y cuantas celdas fluyen hacia una en particular se denomina (flow accumulation), (Servicio Geológico Colombiano, 2013, p58). Se obtuvieron 5 categorías que varían desde divisoria de aguas o lomos, escorrentía lenta, flujo acumulado, drenaje no permanente y quebradas y ríos. Estas categorías fueron calificadas como susceptibilidad uno

(1) muy baja, dos (2) baja, cinco (5) muy alta, tres (3) media y uno (1) muy baja respectivamente.

El 64% del área de estudio presenta una susceptibilidad baja, 21% Muy baja, 12% Muy Alta y solamente el 3% presenta una susceptibilidad media a desarrollar movimientos en masa. Este porcentaje de distribución aplica para el parámetro morfométrico Acuenca.

La Rugosidad está especificada como la variación de la pendiente en un área y define los límites de taludes y laderas tanto en valles como en laderas, (Servicio Geológico Colombiano, 2013). Para este parámetro morfométrico se generaron 5 categorías que varían de rugosidad muy baja o Nula, rugosidad baja, rugosidad media, rugosidad alta y rugosidad muy alta. Las categorías se calificaron como susceptibilidad uno (1) muy baja, dos (2) baja, tres (3) media, cuatro (4) alta y cinco (5) muy alta respectivamente.

El 33% de área de estudio presenta una susceptibilidad Alta, 23% media, 20% Baja, 15% muy Baja y el 9% presenta una susceptibilidad muy alta a desarrollar movimientos en masa, tomando como parámetro de análisis la Rugosidad.

Correlacionar los parámetros de Pendientes, Acuenca y rugosidad, permitió un análisis cuantitativo mejorando de esta manera la zonificación realiza; que en su mayoría muestra datos cualitativos. El modelo digital de elevaciones sirvió como insumo para la elaboración del parámetro morfométrico. (Ver Figura 4 'Derecha').

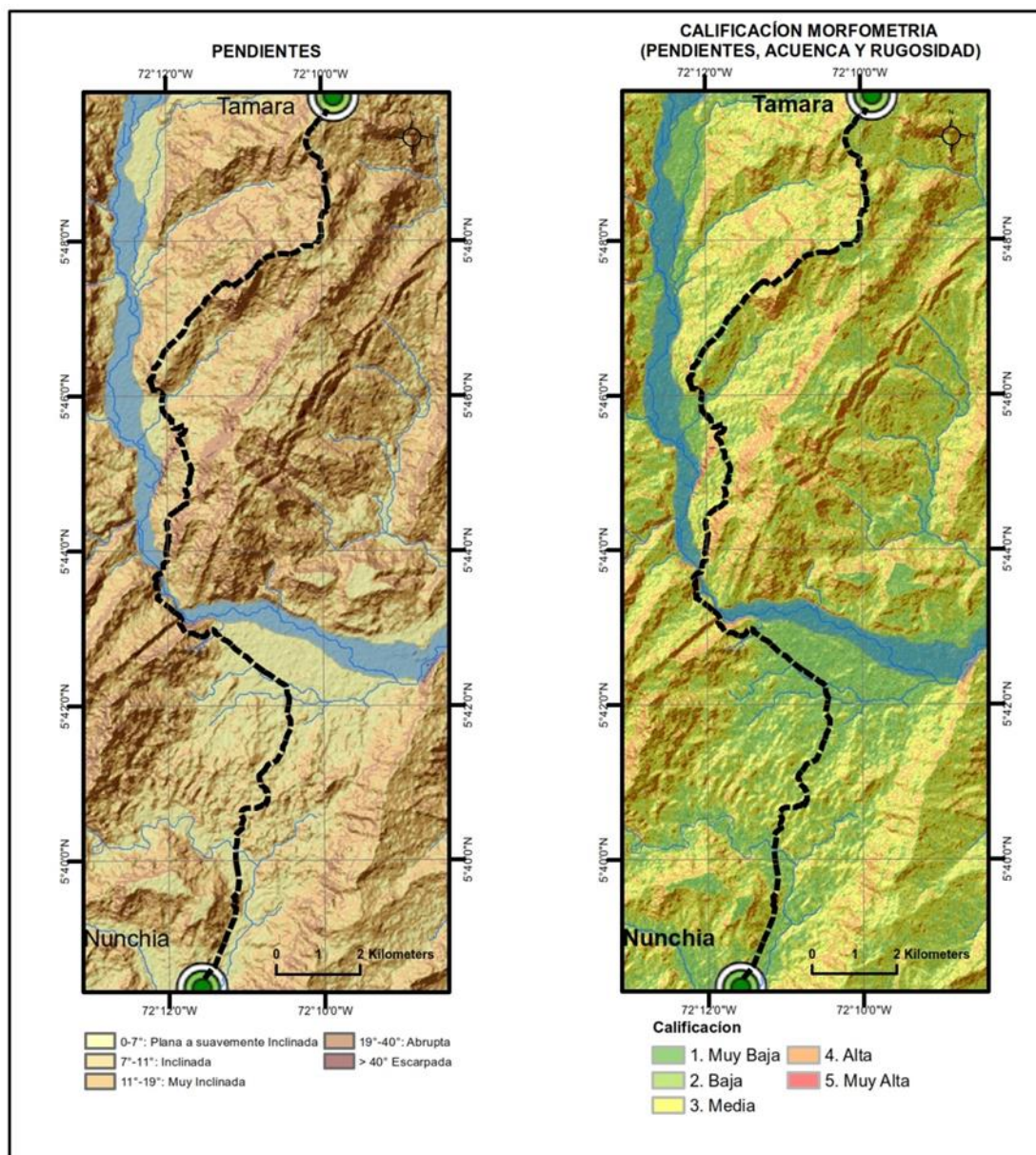


Figura 4. Clasificación de la pendiente 'Izquierda' y calificación de la morfometría (Pendientes, Acuenca y Rugosidad) 'Derecha'. (Fuente: Elaboración Propia).

✓ Morfogénesis

La morfogénesis está representada por las unidades geomorfológicas y éstas relacionan las formas del terreno, (Causas y procesos que dieron forma al paisaje). En el área de estudio, se identificaron 10 unidades geomorfológicas, donde fueron calificadas como muy alta susceptibilidad, los depósitos coluviales activos y los depósitos de talus. Los depósitos coluviales inactivos y los conos de deyección

se calificaron como cuatro (4) de alta susceptibilidad. Las Colinas residuales y laderas muy inclinadas y escarpadas son calificadas como tres (3), que corresponde a medianamente susceptible. La calificación de baja susceptibilidad (2) corresponde a laderas moderadas y de muy baja susceptibilidad (1) a terraza baja y cauce actual del río, (Ver Figura 5 'Derecha').

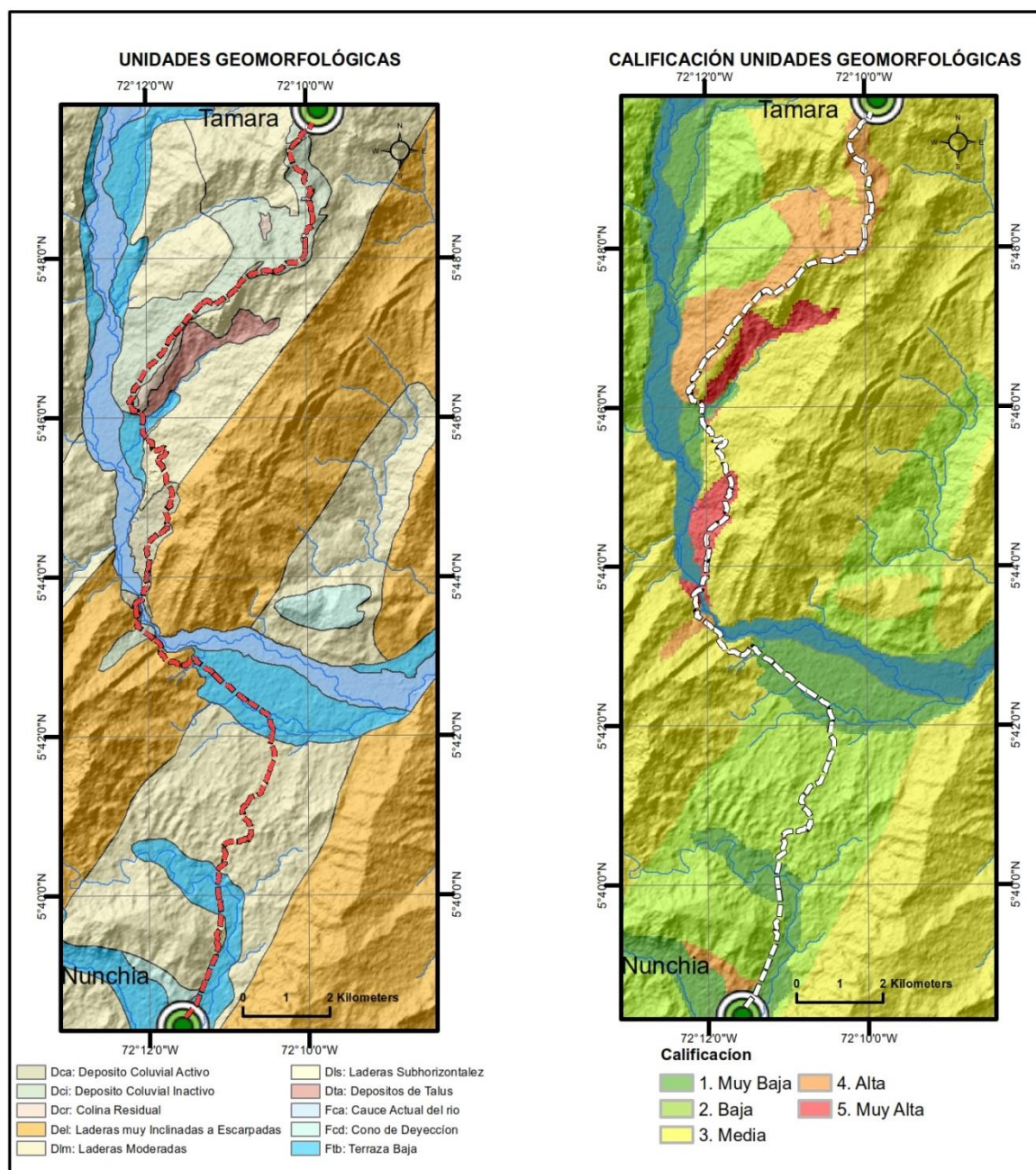


Figura 5. Unidades geomorfológicas 'Izquierda' y calificación unidades geomorfológicas 'Derecha'.
(Fuente: Elaboración Propia).

✓ Morfodinámica

El atributo morfodinámico es generado a partir de un componente de relieve Relatncli, el cual es formado al combinar el relieve relativo (RR) y la inclinación de la ladera (IL), (ver figura 6 'Izquierda'). Otro componente es el inventario de procesos de movimientos en masa y por último tenemos las unidades del suelo generadas del mapa geomorfológico,

(Servicio Geológico Colombiano, 2013).

El relieve relativo (RR) es la diferencia entre la mayor elevación y la menor elevación por unidad de área, expresada en K^2 , (Servicio Geológico Colombiano, 2013, p66). En el área de estudio se identificaron tres categorías que corresponden a moderadamente blando y erosión alta

(235m a 400m), Resistente y erosión moderada (400m a 1000m) y muy resistente y erosión baja (1000m a 2500m).

La inclinación de la ladera (IL) está relacionada con la susceptibilidad a la formación de movimientos en masa. En el área de estudio varía desde terreno plano ($<5^\circ$) que corresponde a materiales muy blandos y muy baja susceptibilidad a movimientos en masa, a taludes muy escarpados ($>45^\circ$), extremadamente resistentes y altamente susceptibles a desarrollar movimientos en masa.

En el área de estudio se identificaron insítu, quince (15) puntos inestables plasmados en el inventario de procesos de movimientos en masa. Para incluirlos en el procesamiento, los puntos fueron transformados en polígonos, por medio de Buffers de radio 25 metros y posteriormente anexados al mapa de unidades geomorfológicas, como una unidad nueva que corresponde a zonas inestables, con el fin de contrastar la dinámica del terreno, (Ver Figura 6 'centro').

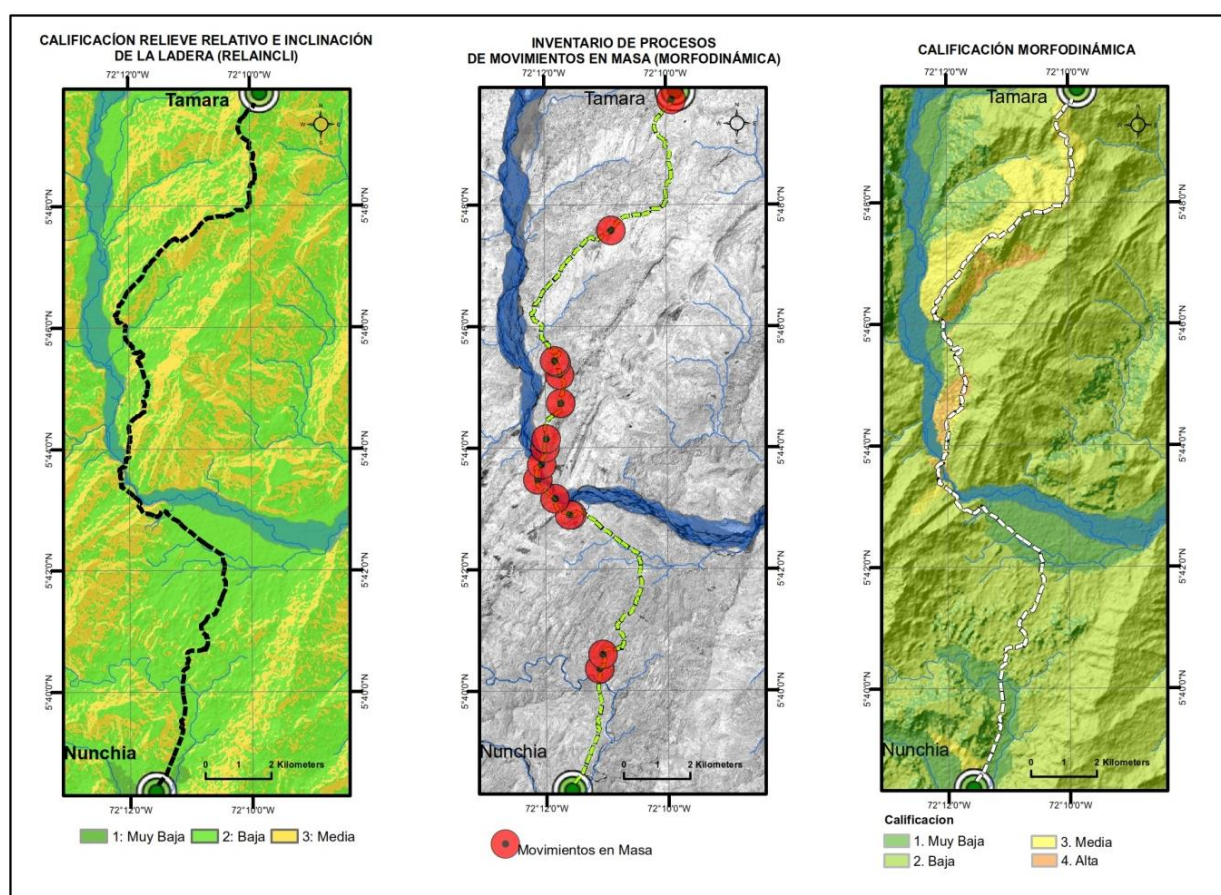


Figura 6. Calificación Relieve Relativo (RR) e inclinación de la ladera (IL) (Relaincli) 'Izquierda', inventario de procesos de movimientos en masa 'Centro' y Calificación Morfodinámica 'Derecha'. (Fuente: Elaboración Propia).

4. RESULTADOS

✓ Unidad Geológica y unidad Geomorfológica

Como resultado se obtienen dos capas temáticas llamadas Unidad Geológica y Unidad geomorfológica. Como mencionamos en la

metodología, la unidad Geológica la conforman Fabrica/Estructura, Resistencia y densidad de fracturamiento. Al superponer estas capas temáticas con la herramienta 'weighted Overlay' de Arcgis, nos

permite ponderar cada capa dependiendo del análisis y criterio del profesional. Para la fábrica /Estructura y resistencia se pondero con el 80% y la densidad de fracturamiento con el 20%, (Ver Figura 7 'Izquierda').

La unidad Geomorfológica la conforman las capas temáticas;

Morfometría, morfogénesis y la Morfodinámica. Al superponer estas capas quedan ponderadas con el 60 % para la morfodinámica y la morfogénesis. El 40% se le atribuye a la Morfometría, (Ver Figura 7 'Derecha').

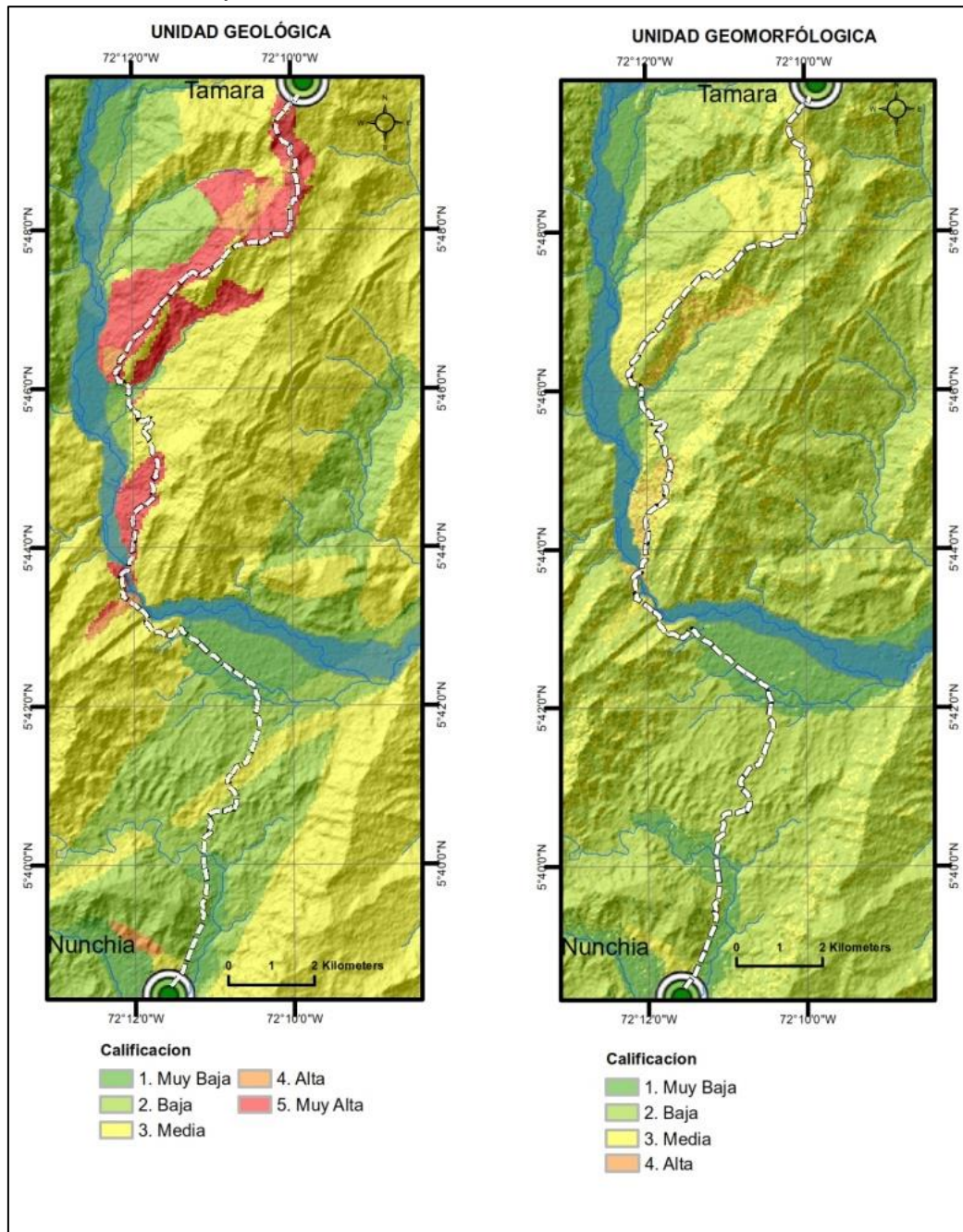


Figura 7. Calificación Geología 'Izquierda', Calificación Geomorfológica 'Derecha'.
(Fuente: Elaboración Propia).

La distribución porcentual está ligada al detalle del levantamiento de la información de campo. Para este estudio, se realizó sobre el trazado proyectado; de esta manera se pierde detalle en el resto del área, disminuyendo la calidad de la información a medida que nos alejamos de la vía.

En la unidad geológica el 70 % del área de estudio presenta susceptibilidad media, 21% baja, 6% muy baja, 2% muy alta y solo el 1% presenta una susceptibilidad alta a desarrollar movimientos en masa. (Ver figura8).

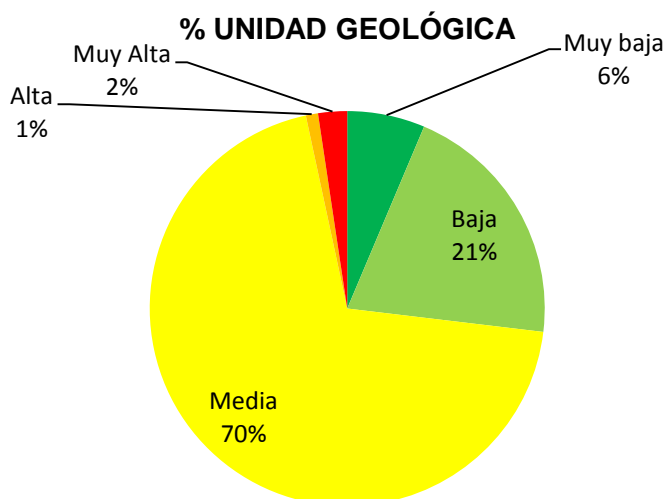


Figura 8. Porcentaje de distribución Unidad Geológica. (Fuente: Elaboración Propia).

En la unidad geomorfológica el 67 % del área de estudio presenta susceptibilidad baja, 22% Media, 10%

muy baja y solo el 1% presenta una susceptibilidad alta a desarrollar movimientos en masa. (Ver Figura 9).

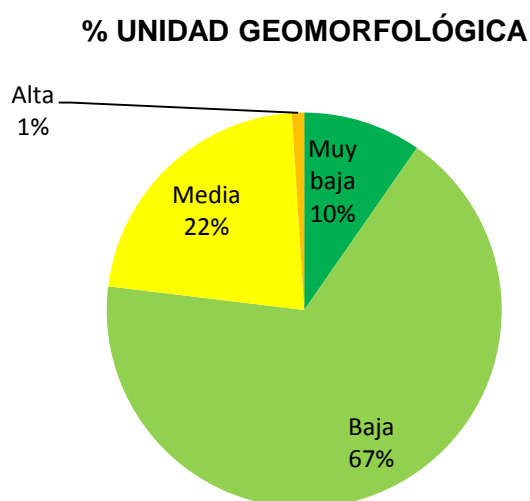


Figura 9. Porcentaje de distribución Unidad Geomorfológica. (Fuente: Elaboración Propia).

✓ Zonas Críticas

La definición de las zonas críticas, es el proceso de crear capas temáticas y luego superponerlas con su respectiva ponderación. Para esta etapa final se

utilizan las capas temáticas de unidad geológica y Unidad geomorfológica. Estas capas se superponen, asignándoles el 50%, (Ver Figura 10).

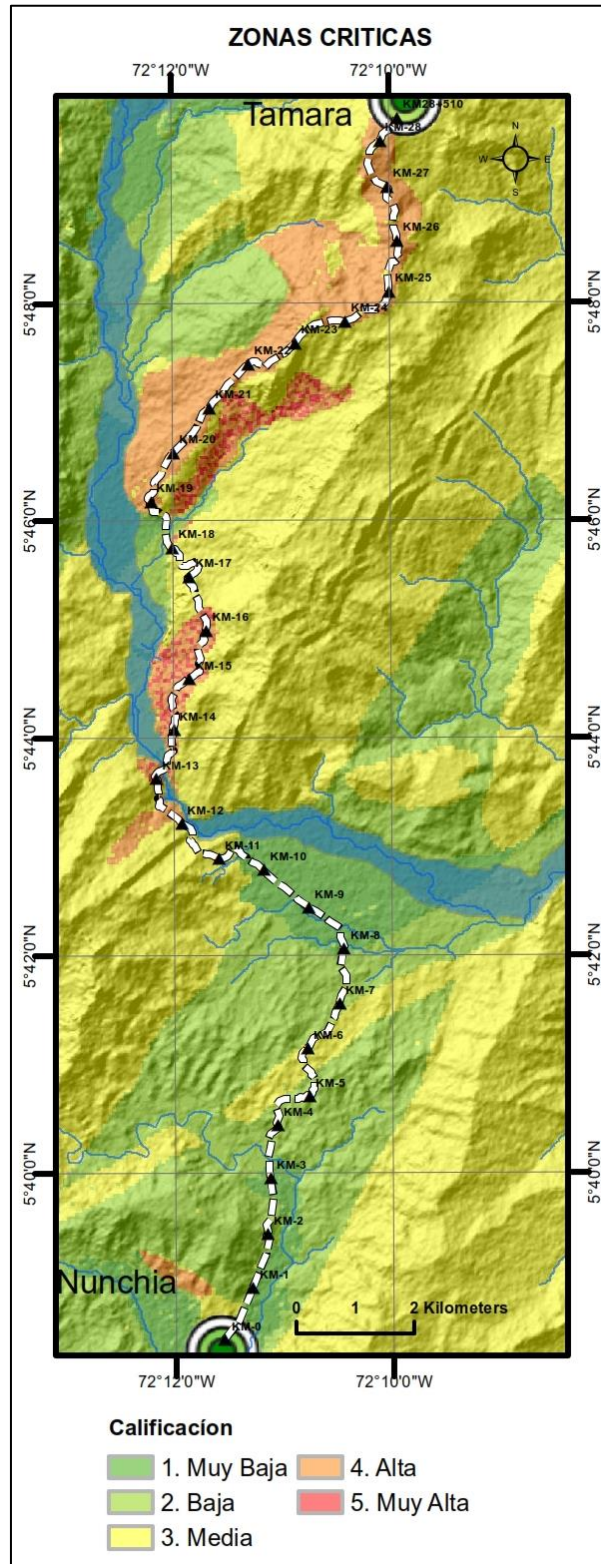


Figura 10. Zonas Críticas. (Fuente: Elaboración Propia).

El 70 % del área de estudio presenta susceptibilidad media, 21% baja, 6% muy baja, 2% alta y solo el 1%

presenta una susceptibilidad muy alta a desarrollar movimientos en masa. (Ver Figura 11).

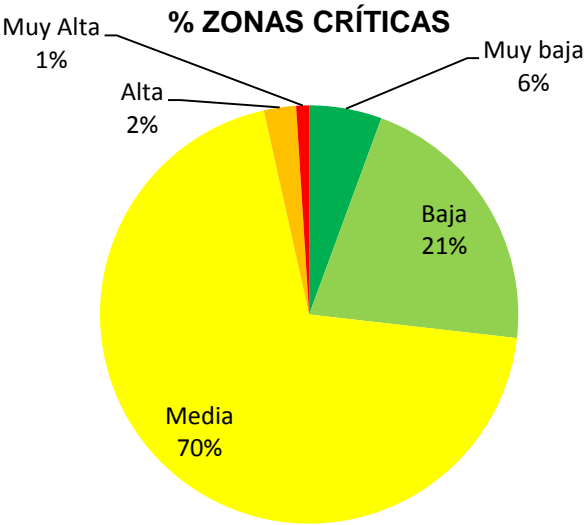


Figura 11. Porcentaje de distribución de Zonas susceptibles. (Fuente: Elaboración Propia).

Como se mencionaba anteriormente la calidad de la información disminuye a medida que se aleja de la vía principal, ya que el levantamiento geológico se realizó únicamente sobre la vía

proyectada. Por tal motivo, se presentan a continuación los intervalos de esta zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa, sobre la vía Nunchia –Tamara, (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Intervalos Susceptibilidad.

K Inicial	K final	Susceptibilidad
0	5+500	Baja
5+500	6	Media
6	8	baja
8	10+800	Muy baja
10+800	12	Media
12	12+600	Alta
12+600	16+500	Muy Alta
16+500	18+100	Media
18+100	18+700	Muy alta
18+700	28	Alta

(Fuente: Elaboración Propia).

5. CONCLUSIONES

- ✓ La vía entre las poblaciones de Nunchía y Tamara, corta materiales Rocosos de las formaciones San Fernando, formación Diablo, formación Caja, formación Corneta, depósitos Aluviales, abanicos Aluviales y depósitos Coluviales como unidad con mayor Susceptibilidad grado (5).
- ✓ Las principales fallas que afectan el área del proyecto corresponden a las La fallas de Guaicaramo, Miraflores, Alirios y algunas de menor magnitud. Las zonas dentro de los 250 metros de distancia desde la Línea de falla, fueron zonificadas como de Muy alta susceptibilidad a desarrollar movimientos en masa.
- ✓ En la capa temática correspondiente a Morfometría, el 62 % del área de estudio presenta susceptibilidad Muy Baja, 16% Media, 11% Baja, 9% alta y solo el 2% presenta una susceptibilidad muy alta a desarrollar movimientos en masa.
- ✓ Al superponer las capas temáticas de morfogénesis y morfodinámica, el 80 % del área de estudio presenta susceptibilidad Baja, 15% Muy baja, 4% Media y solo el 1% presenta una susceptibilidad alta a desarrollar movimientos en masa.
- ✓ Las Zonificación del trazado de la vía que comunica al municipio de Nunchia a Tamara (municipios pertenecientes al departamento de Casanare), presentan diferentes variaciones. Desde el Km 0 al Km5+500 presenta susceptibilidad Baja, Km 5+500 al Km 6 media, Km 6 al Km 8 Baja, Km 8 al Km 10+800 Muy Baja, Km 10+800 al Km 12 Media, Km 12 al 12+600 Alta, Km 12+600 al 16+500 Muy Alta, Km 16+500 al Km 18+100 Media, Km 18+100 al Km 18+700 Muy Alta y del Km 18+700 al Km 28 Alta.
- ✓ Las unidades geológicas y geomorfológicas ajustadas del 1:100.000 que se tomó como base, están ubicadas sobre la vía proyectada desde el municipio de Nunchia a Tamara. Por tal motivo los resultados obtenidos en cercanías a la vía son correctos y solo deben tomarse estos datos para interpretaciones futuras.

6. AGRADECIMIENTO

Le agradezco a esa persona que siempre está a mi lado, a esa persona que me quita el sueño y me da la calma.....

7. REFERENCIAS

- ✓ Servicio Geológico Colombiano. (2013, 13 de Agosto). Documento Metodológico De La Zonificación De Susceptibilidad Y Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000. Versión No. 2. Bogotá: Subdirección De Amenazas Geológicas Y Entorno Ambiental. pp 23-24, 29, 52´54, 58.
- ✓ Jiménez Perálvarez J. D (2005, 23 de septiembre del 2005). Análisis De La Susceptibilidad A Los Movimientos De Ladera Mediante Un Sig En La Cuenca Vertiente Al Embalse De Rules. Universidad de Granada, Granada, España.
- ✓ Villagrán Andrea, Paul R, Harris D, (2009) Algunas claves para escribir correctamente un artículo científico. Chil pediatri. Artículo de revisión. pp 70 a 78.
- ✓ Suarez Jaime (2007). Zonificación de susceptibilidad Amenaza y Riesgo Deslizamientos: Análisis Geotécnico pp 527 – 582.
- ✓ IDEAM. (2012). Metodología para La Zonificación de Susceptibilidad General Del Terreno a Los Movimientos En Masa. Bogota DC. pp 1 – 28.